



サイフォン式無動力反応槽を用いた水生植物残渣と生ごみの混合メタン発酵

著者	呉 亜鵬
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	11301甲第16099号
URL	http://hdl.handle.net/10097/61313

学位論文題目

サイフォン式無動力反応槽を用いた水生植物残渣と生ごみの混合メタン発酵

呉 亜鵬

大量生産、大量消費、大量廃棄の社会システムにより、高度な経済成長を続けてきたが、化石資源をはじめとする有限なエネルギー資源を大量消費してきた結果、近年化石資源等の枯渇が危惧されると共に、自然の浄化能力を超え、地球温暖化をはじめとする地球環境問題が深刻な状況となっている。地球温暖化防止、循環型社会の形成、また地球環境にやさしい新しい科学技術の開発の重要性が強く認識されるようになった。

メタン発酵法は、カーボンニュートラルの特性を有し、枯渇することのない下水汚泥、生ごみや家畜排泄物等をはじめとする大量の廃棄物系バイオマスを原料に用いることができる。メタン発酵法は、省資源・省エネルギーの観点から、処理プロセスや処理機構などに関する多くの研究が行われている。メタン発酵法は、1)汚泥の減量化、2)有用なメタンガスの回収・利用、3)悪臭の消滅、4)病原微生物やウイルスの不活性化、5)汚泥脱水の向上、6)消化汚泥の農業利用などの利点を持っている。このように多くの優れた機能を有するメタン発酵に関する技術の開発と応用が世界的に注目を集めている。

近年、戸別に小規模なメタン発酵槽を設置し、家庭から排出される有機性廃棄物を原料としてメタン発酵を行い、回収したバイオガスを家庭で使用するシステム(家庭用バイオガス施設)は、世界中で広く使用されている。これらの施設は一般的には無攪拌の押し出し流れ方式で、容積は約 10 m³、電力を必要としない簡素な低コストのシステムである。日本国内にも同様の施設が存在している。しかしながら、上述の家庭用メタン発酵施設は、攪拌不十分による問題がしばしば生じる。また、家庭において投入原料の不足ゆえに満足できる量のバイオガスが得られないことはよく指摘されている。本研究では、電力を消費せず、低コストであるという現行の技術の長所を損なうことなく、攪拌不十分の問題を解決すること、また、家庭用小規模メタン化施設に適用な原料を探索するために、3つの研究課題に取り組んだ。具体的に本論文は6章からなる。

第1章は総論であり、家庭用小規模メタン化施設の課題を提起し、本研究の背景、意義および目的について説明している。

第2章「従来の研究と課題」では、バイオマスの現状や利用状況を調査し、メタン発酵の原理、家庭用小規模メタン化施設の応用現状についてまとめ、研究課題を総説し、本研究の位置付けと目的を明らかにした。

第3章「環境浄化水生植物刈取り残さの発酵特性」

近年、様々な水生植物を利用する水環境修復技術が近年大きな注目を集めている。しかしながら、その後、水生植物の過剰に繁茂なので、二次汚染になる可能性が高く、繁茂した植物体の回収とその回収後の処理・活用方策がまだ確立されていない。水生植物は含水率が高いため、自燃が困難でかつ腐敗しやすく、処理の困難な廃棄物である。地球温暖化防止、循環型社会の形成等の様々な観点から、メタン発酵による残さの処理が有望な処理方法のひとつであると考えられる。水生植物は、汚濁負荷の吸収作用の他、植物の茎や葉の周りに付着した生物膜や底泥界面における吸着、硝化、脱窒、分解などの作用が複合的に機能しているので、河川・池沼の直接浄化の他、排水処理施設からの放流水の高度処理にも適用可能である。

水生植物は、例えばホテイアオイを基質としてメタン発酵することができるといういくつかの研究報告がなされている。しかし、これらの研究はほとんどバッチ実験で行ったメタン発酵エネルギー発生ポテンシャルの評価だけであり、連続実験での分解特性と動力学特性について、また検討されていない。

本研究は、家庭用小規模メタン化施設に適用な原料を探索するために、水生植物浄化法において発生する植物体残さに着目した。日本国立環境研究所環境修復再生技術研究室から、生活排水と湖水の混合水を水槽で処理している9種類の水生植物(オオフサモ、ササバモ、藻類、ヒロハノエビモ、マツモ、ガシャモク、クロモ、オオカナダモ、インバモ)の刈取り残さを採取し、それぞれの成分組成を測定した後、風乾して微細化したものを使用した。容量120 mlのバイアル瓶を用いて、35℃の恒温箱のなかで振とう培養しながら行った。60日間のバイオガス量を測定した。その結果、9種類の水生植物の中に、オオカナダモは最も高いメタン生成ポテンシャルが得られた。それから、オオカナダモを原料としての中温嫌気性消化特性の把握を目的とし、完全混合リアクターを用いた室内連続実験を行った。以下の結論が得られた。HRT15~45日間の条件で良好な嫌気性消化状態を保持、COD容積負荷を約6.3kg/m³/d程度まで安定運転できたことが確認された。固形物の加水分解速度は一次反応式で表現できる結果が得られた。それぞれの指標の速度定数と難分解性割合が求められた。COD、TS及びVSの加水分解定数は

それぞれ 0.05、0.06、0.08 1/d であった。生物難分解性物質の割合はそれぞれ 24.6、24.7、18.5% 程度であった。いずれの成分の加水分解定数は、生ごみの高温発酵、余剰活性汚泥の中温発酵及び高濃度牛ふん尿の中温発酵と比較して非常に低い値となっている。

第 4 章「サイフォン式無動力攪拌方式を用いた生ごみのメタン発酵に及ぼす効果」

攪拌は反応槽の基本的な操作の一つであり、メタン発酵において攪拌が果たす役割は、(1)投入原料を分散して基質と微生物との接触効率を高める、(2)スカム形成の抑制、(3)大規模施設の場合の温度均一化等がある。攪拌が不十分な装置は、Completely stirred tank reactor (CSTR) と比較して処理効率が低下するという実験結果がいくつか報告されている。家庭用小規模メタン発酵施設は、攪拌不十分による問題がしばしば生じる。例えば生ごみのように、投入量が不安定な原料を処理する場合に、一時的な有機物負荷の増大に対応できず、有機酸の蓄積・ガス生成の不調が発生することをこれまでの調査で確認している。一般的に、押出流れ式装置の内部は投入原料の分散が不十分なため、局所的に高負荷になって酸性化しやすい。それを回避するために、アルカリ剤添加が必要になる場合もある。別の問題の例としては、槽内への固形物の沈殿・蓄積が挙げられる。原料には一定割合で無機物や難生物分解性の成分が含まれているため、それらは沈殿すると、槽内に蓄積することになる。このことは装置の有効容積の減少や、目詰まりの問題を引き起こす。事実、中国の家庭用施設のマニュアルでは年一回の槽内の洗浄が推奨されている。これは、運転を停止して中の汚泥を全部取り出す必要があるので、メンテナンスとしては負担が大きい。

本研究では、解決手段のひとつとして無動力の攪拌機構の活用に着目した。密閉チャンバーと U 字管を取り付けたメタン発酵槽を開発し、チャンバー内で生成し蓄積するバイオガスのサイフォン現象による移動を利用した無動力の攪拌を行った。

サイフォンを利用した無動力攪拌機構の導入がメタン発酵処理特性に及ぼす影響を評価するため、(1)サイフォン式攪拌、(2)完全混合、(3)無攪拌の各装置を用いた比較実験を行った。3 種類の装置を並列して食堂残飯を処理する中温メタン発酵の連続実験を行い、処理性能と槽内の反応状況の分布を比較し、以下に示す特徴的な差異を明らかにした。サイフォン式攪拌装置は最大 $18\text{kg/m}^3/\text{d}$ まで達する高い COD 容積負荷の下で良好な運転を継続できたのに対して、無攪拌装置は $10\text{kg/m}^3/\text{d}$ の負荷の下で酸性化した。この結果は、サイフォン式攪拌の導入によって、許容可能な負荷の水準が明らかに拡大されたことを実証している。また、同一の負荷条件の下においてサイフォン式攪拌装置

は完全混合装置と同等で、無攪拌装置よりも 10% 高いメタン収率が得られた。サイフォン攪拌装置の内部は無攪拌装置と比較して揮発性脂肪酸や VS が均一に分布しており、投入原料が槽全体によく分散されていることを示唆していた。このような特徴が無攪拌装置において起きる沈殿や酸性化の抑止に寄与していたと考えられた。

第 5 章「サイフォン式無動力攪拌による水生植物残さと生ごみの混合発酵特性」

水生植物オオカナダモの刈取り残さを原料としての中温メタン発酵ができたことを確認した。適切なバイオマス量制御による浄化機能の向上と家庭用小規模メタン化施設の原料を確保するために、沈水植物刈取り残さを原料としての投入が可能と考えられる。また、サイフォン式無動力反応槽を用いて、生ごみの中温メタン発酵は投入原料が槽全体によく分散されて、無攪拌装置において起きる沈殿や酸性化の問題をよく回避したことも分かった。しかし、水生植物の分解率が低く、汚泥の流動性が低下し、このサイフォン式無動力反応槽を用いて、水生植物刈取り残さと生ごみの混合発酵特性は本研究の焦点である。

国立環境研究所からの食堂残飯とオオカナダモ刈取り残さを使用して、混合した後連続実験を行い、処理性能と槽内の反応状況の分布を解析し、生ごみ単独メタン発酵と比較させた。その結果、HRT30 日の条件下で、ガス生成速度は 2.4L/d 程度で、pH は 7.7 程度で維持された。全 HRT30 日の期間で VFA 検察されなかった。オオカナダモ刈取り残さと生ごみの混合発酵は安定運転になったことを確認された。槽内の汚泥性状の分布を分析した結果、生ごみ単独発酵と比較して、本実験のほうで槽後段から TS、VS、Ash 濃度が高いと示唆していた。このことから、槽内における難分解成分の蓄積は、生ごみ単独発酵よりも大きく、メンテナンス頻度が増えることが予想された。

第 6 章「総括および結論」では、本論文の主な成果を総括している。